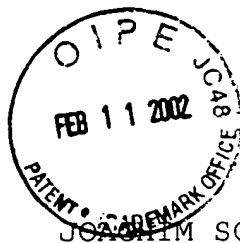


5-12-03 13
H5



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

JOACHIM SCHULZ ET AL

Serial No. 10/017,089

Confirmation No. 6522

Filed December 15, 2001

LASER BEAM REFORMING SYSTEM

January 23, 2002

Honorable Commissioner of Patents
and Trademarks
Washington, D.C. 20231

Sir:

CLAIM TO PRIORITY

Applicants hereby claim the priority of their Application
Serial No. 27 604.7 dated December 16, 2000 in Europe and
appended hereto is a certified copy thereof

By

Peter L. Costas
Attorney for Applicant
Registration No. 18,637
(860) 241-2630

TAIG-98



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

00127604.7

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

DEN HAAG, DEN
THE HAGUE, 21/11/01
LA HAYE, LE



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation

Anmeldung Nr.:
Application no.:
Demande n°: 00127604.7

Anmeldetag:
Date of filing: 16/12/00
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
TRUMPF LASERTECHNIK GmbH
D-71254 Ditzingen
GERMANY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:
Einrichtung zur Strahlformung eines Laserstrahls

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:
H01S3/00, G02B27/09, G02B5/10

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/CY/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE/TR
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

TELEFON: 0711/784731 TELEFAX: 0711/7800995/96
KOHLE SCHMID + P. RUPPMANNSTR. 27 D-70565 STUTTGART

KOHLE SCHMID + PARTNER
PATENTANWÄLTE

EPO - Munich
3

16. Dez. 2000

Stuttgart, 14.12.2000

24 304 RK/pa

Trumpf Lasertechnik GmbH
Johann-Maus-Straße 2
D-71254 Ditzingen

Einrichtung zur Strahlformung eines Laserstrahls

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Strahlformung eines Laserstrahls mit ringsektorförmigem Strahlquerschnitt, mit einem Spiegel, dessen Spiegeloberfläche als Ringsektor eines Rotationskörpers gestaltet ist. Eine derartige Einrichtung zur Strahlformung eines Laserstrahls ist beispielsweise durch die DE 44 21 600 C2 bekanntgeworden.

- 2 -

Bei der aus der DE 44 21 600 C2 bekannten Einrichtung zur Strahlformung wird aus einem ringsektorförmigen Laserstrahl mit radialer und/oder azimuthaler Polarisierung ein rechteckförmiger Laserstrahl mit linearer Polarisierung erzeugt. Dazu wird der Laserstrahl von einem Kegelsektorspiegel und einem parabolischen Zylinderspiegel geformt, wobei der Linienfokus des parabolischen Zylinderspiegels mit der Rotationsachse des Kegelsektorspiegels annähernd zusammenfällt. Allerdings sind bei dieser bekannten Einrichtung zur Strahlformung zwei Spiegel erforderlich. Der Kegelsektorspiegel formt den Laserstrahl in azimuthaler Richtung, zur Fokussierung oder Defokussierung des Laserstrahls in radialer Richtung ist ein zusätzlicher Spiegel erforderlich. Die auftretenden Brennweiten und Strahlabmessungen liegen in einer Größenordnung, dass bei sphärischen Spiegeln Abbildungsfehler durch sphärische Aberrationen auftreten. Um eine Auskopplung des Laserstrahls aus dem Laserresonator zu ermöglichen, ist es bei der bekannten Einrichtung zur Strahlformung mit einem Kegelsektorspiegel erforderlich, dass der Kegelöffnungswinkel geringfügig von 90° abweicht oder die Kegelachse nicht exakt mit dem Linienfokus des parabolischen Zylinderspiegels zusammenfällt. Dies hat zur Folge, dass der Strahlquerschnitt nur annähernd eine rechteckige Form und lineare Polarisierung aufweist.

Es ist daher die Aufgabe der Erfindung, bei einer Einrichtung zur Strahlformung der eingangs genannten Art Abbildungsfehler zu verringern.

- 3 -

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass die Spiegeloberfläche als Ringsektor eines parabolischen Rotationskörpers gestaltet ist. Die Spiegeloberfläche kann durch die konvexe oder durch die konkave Oberfläche des parabolischen Rotationskörpers gebildet sein. Bevorzugt ist der parabolische Rotationskörper als Rotationsparaboloid ausgebildet.

Ein parabolischer Rotationskörper entsteht durch Rotation der Parabel $z = x^2/a^2$, $a^2 > 0$ um eine beliebige, zur Symmetrieachse der Parabel parallele Rotationsachse. Die Krümmung der Parabel beträgt $d^2z/dx^2 = 2/a^2$ und ist für $a^2 > 0$ überall von Null verschieden. Ein Ringsektor eines parabolischen Rotationskörpers kann auch durch einen elliptischen Rotationskörper approximiert werden. Ein Rotationsparaboloid stellt einen speziellen parabolischen Rotationskörper dar, bei dem die Rotationsachse mit der Symmetrieachse der Parabel zusammenfällt.

Spiegeloberflächen, die als Ringsektoren von parabolischen Rotationskörpern gestaltet sind, formen den Laserstrahl sowohl in azimuthaler als auch in radialer Richtung. Abbildungsfehler durch sphärische Aberration treten bei derartigen Spiegeln grundsätzlich nicht auf, und bei exakter Parallelität zwischen Laserstrahlachse und optischer Achse sind sie auch frei von astigmatischen Abbildungsfehlern. Der Ringsektor eines parabolischen Rotationskörpers erzeugt einen Linienfokus auf seiner Rotationsachse,

- 4 -

während der Ringsektor eines Rotationsparaboloiden einen Punktfokus auf seiner Rotationsachse erzeugt.

Wenn der Ringsektor des parabolischen Rotationskörpers coaxial zur Ringsektorachse des einfallenden Laserstrahls angeordnet ist und wenn der ringsektorförmige Laserstrahl am parabolischen Rotationskörper um 90° reflektiert wird, wird die radiale und/oder azimuthale Polarisierung in eine lineare Polarisierung überführt. Die effektive Brennweite des Ringsektors des parabolischen Rotationskörpers entspricht in azimuthaler Richtung dem Krümmungsradius des ringsektorförmigen Laserstrahls. Durch Reflexion am parabolischen Rotationskörper bzw. am Rotationsparaboloiden wird der ringsektorförmige Laserstrahl in einen rechteckförmigen Laserstrahl geformt, wobei der parabolische Rotationskörperspiegel auf seiner Rotationsachse einen Linienfokus und der Rotationsparaboloidspiegel auf seiner Rotationsachse einen Punktfokus erzeugt. Da die optische Achse parallel zur Laserstrahlachse verläuft, treten keine astigmatischen Abbildungsfehler auf, so dass insgesamt das Auftreten von Abbildungsfehlern verringert ist.

Vorzugsweise ist im Linienfokus des Ringsektors des parabolischen Rotationskörpers bzw. im Punktfokus des Ringsektors des Rotationsparaboloids eine Blende (Raumfilter) vorgesehen, die aus dem rechteckförmigen Laserstrahl unerwünschte Beugungsanteile (Nebenmaxima) ausblendet. Dabei kann die relative Position zwischen Blende und Linien- bzw. Punktfokus des Ringsektors verstellbar

- 5 -

sein. Mittels einer Messeinrichtung kann die Temperatur der Blende erfasst und daraus ein Temperatursignal generiert werden, welches als Steuersignal zum Verstellen eines adaptiven Spiegels oder zum Verschieben der Blende dient.

Bei bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung ist dem Ringsektor ein optisches Element mit einer oder mehreren Oberflächen nachgeordnet, die den Laserstrahl jeweils in zwei zueinander rechtwinkligen Richtungen formt bzw. formen. Mit diesem optischen Element können am Bearbeitungsort die gewünschten Strahlbreiten des Laserstrahls geformt werden.

In einer Weiterbildung dieser Ausführungsform ist das optische Element einteilig als Bifokuslinse ausgebildet, deren rückwärtiger Fokus vorzugsweise im Bereich der Rotationsachse des parabolischen Rotationskörpers liegt.

In einer anderen Weiterbildung ist das optische Element mehrteilig ausgebildet, beispielsweise durch eine Zylinderlinse und einen parabolische Zylinderspiegel oder durch eine Zylinderlinse und zwei parabolische Zylinderspiegel. Der rückwärtige Linienfokus der Zylinderlinse und/oder der rückwärtige Linienfokus des parabolischen Zylinderspiegels liegen bevorzugt im Bereich der Rotationsachse des parabolischen Rotationskörpers. Die Zylinderlinse kann den Laserresonator vakuumdicht abschließen und als

- 6 -

Auskoppelfenster dienen. Ein parabolischer Zylinderspiegel kann auch durch einen elliptischen Zylinderspiegel approximiert sein.

Der Ringsektor des parabolischen Rotationskörpers und die Zylinderlinse können zusammen ein Galilei-Teleskop für die ursprünglich radiale, nunmehr entkrümmte Richtung des ringsektorförmigen Laserstrahls, der Ringsektor des parabolischen Rotationskörpers und ein parabolischer Zylinderspiegel zusammen ein Kepler-Teleskop für die ursprünglich azimutale, nunmehr entkrümmte Richtung und die beiden parabolischen Zylinderspiegel zusammen ein Kepler-Teleskop für die ursprünglich azimutale Richtung bilden.

Die Erfindung betrifft auch einen Laser, umfassend einen koaxialen Laserresonator mit ringförmigem Entladungsraum und ringsektorförmiger Auskoppelöffnung sowie eine Einrichtung zur Strahlformung, wie sie oben beschrieben ist. Dabei ist der Ringsektor des parabolischen Rotationskörpers coaxial zur Ringsektorachse des einfallenden Laserstrahls ausgerichtet, d.h., die Rotationsachse des parabolischen Rotationskörpers fällt mit der Ringsektorachse des einfallenden Laserstrahls zusammen. Dadurch wird der ringsektorförmige Laserstrahl mit radialer und/oder azimutaler Polarisierung in einen rechteckförmigen Laserstrahl mit linearer Polarisierung geformt.

- 7 -

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

Es zeigt:

- Fig. 1 einen Laser mit einem coaxialen Laserresonator und einer erfindungsgemäßen Einrichtung zur Strahlformung des Laserstrahls;
- Fig. 2 einen Schnitt in nicht maßstäblicher Darstellung durch die in Fig. 1 gezeigte Einrichtung zur Strahlformung;
- Fig. 3 eine andere erfindungsgemäße Einrichtung zur Strahlformung des Laserstrahls in einer Darstellung analog der Fig. 1; und
- Fig. 4 einen Schnitt in nicht maßstäblicher Darstellung durch die in Fig. 3 gezeigte Einrichtung zur Strahlformung in einer Darstellung analog der Fig. 2.

- 8 -

Fig. 1 zeigt einen coaxialen Laserresonator 1 mit einem ringförmigen Entladungsraum 2, der von einer zylindrischen Außenelektrode 3 und einer darin befindlichen zylindrischen Innenelektrode 4 begrenzt ist. An dem in Fig. 1 rechten Ende des Laserresonators 1 ist der ringförmige Entladungsraum 2 durch einen ringförmigen Frontspiegel 5 mit einer ringsektorförmigen Auskoppelöffnung 6 und am linken Ende durch einen konischen Rückspiegel 7 begrenzt.

Der durch die ringsektorförmige Auskoppelöffnung 6 aus dem ringförmigen Entladungsraum 2 austretende ringsektorförmige Laserstrahl 8 ist radial und/oder azimuthal polarisiert. Außerdem enthält die Leistungsdichteverteilung unerwünschte Beugungsanteile (Nebenmaxima).

Der ringsektorförmige Laserstrahl 8 trifft innenseitig auf einen um 90° umlenkenden Ringsektor 9 eines Rotationsparaboloidspiegels, dessen Rotationsachse 10 coaxial zum ringförmigen Entladungsraum 2 und parallel zur Einfallsrichtung des Laserstrahls 8 liegt und dessen Brennweite in azimuthaler Richtung dem Krümmungsradius des ringsektorförmigen Querschnitts des Laserstrahls 8 entspricht. Durch Reflexion am Ringsektor 9 des Rotationsparaboloids wird der ringsektorförmige Laserstrahl 8 in einen rechteckförmigen Laserstrahl 11 geformt (d.h. entkrümmt) und auf der Rotationsachse 10 ein Punktfokus erzeugt. Im Bereich dieses Punktfokus ist eine Blende 12, insbesondere eine Düse, angeord-

- 9 -

net, die unerwünschte Beugungsanteile aus dem rechteckförmigen Laserstrahl 11 ausblendet.

Damit der rechteckförmige Laserstrahl 11 am Bearbeitungsort die gewünschten Strahlbreiten in beiden Richtungen besitzt, werden zur Strahlformung in der ursprünglich azimuthalen Richtung eine Zylinderlinse 13 und zur Strahlformung in der ursprünglich radialen Richtung ein parabolischer Zylinderspiegel 14, der auch durch einen elliptischen Zylinderspiegel approximiert werden kann, eingesetzt. Der rechteckförmige Laserstrahl 11 trifft auf die Zylinderlinse 13, die die ursprünglich radiale Richtung des rechteckförmigen Laserstrahls 11 nicht beeinflusst und einen parallelen Laserstrahl 15 in der ursprünglich azimuthalen Richtung erzeugt (Fig. 2). Der parabolische Zylinderspiegel 14 ist so im Strahlengang angeordnet, dass sich sein rückwärtiger Linienfokus etwa im Bereich der Rotationsachse 10 befindet. Durch geeignete Wahl der Brennweite des parabolischen Zylinderspiegels 14 wird ein radial paralleler Laserstrahl 16 mit der gewünschten radialen Strahlbreite erzeugt.

Der Ringsektor 9, die Blende 12, die Zylinderlinse 13 und der parabolische Zylinderspiegel 14 bilden zusammen die insgesamt mit 17 bezeichnete Einrichtung zur Strahlformung.

- 10 -

Fig. 3 und Fig. 4 zeigen eine andere Einrichtung 20 zur Strahlformung, bei der der ringsektorförmige Laserstrahl 8 außenseitig auf den Ringsektor 21 eines parabolischen Rotationskörpers trifft. Durch Reflexion an der konvexen Außenoberfläche des Ringsektors 21 wird der ringsektorförmige Laserstrahl 8 in einen rechteckförmigen Laserstrahl 22 geformt, wobei auf der Rotationsachse 23 des parabolischen Rotationskörpers ein Linienfokus erzeugt wird.

Damit der rechteckförmige Laserstrahl 22 am Bearbeitungsort die gewünschten Strahlbreiten in beiden Richtungen besitzt, werden zur Strahlformung in der ursprünglich radialen Richtung eine Zylinderlinse 24 und zur Strahlformung in der ursprünglich azimuthalen Richtung zwei parabolische Zylinderspiegel 25, 26 eingesetzt. Der Ringsektor 21 des parabolischen Rotationskörperspiegels bildet mit der Zylinderlinse 24 ein Galilei-Teleskop, das in der ursprünglich radialen Richtung einen parallelen Laserstrahl 27 erzeugt, und mit dem ersten parabolischen Zylinderspiegel 25 ein Kepler-Teleskop. Die beiden parabolischen Zylinderspiegel 25, 26 stellen zusammen ein weiteres Kepler-Teleskop für die ursprünglich azimuthale Richtung dar, das in der ursprünglich azimuthalen Richtung einen parallelen Laserstrahl 28 erzeugt. Der rechteckförmige Laserstrahl 22 trifft auf die Zylinderlinse 24, die so im Strahlengang angeordnet ist, dass sich ihr rückwärtiger Linienfokus etwa im Bereich der Rotationsachse 23 befindet. Durch geeignete Wahl der Brennweite der Zylinderlinse 24 wird der Laser-

- 11 -

strahl 27 mit der in der ursprünglich radialen Richtung gewünschten Strahlbreite erzeugt (Fig. 4). Die andere, ursprünglich azimutale Richtung des Laserstrahls 22 wird durch die Zylinderlinse 24 nicht beeinflusst. Anschließend trifft der Laserstrahl 27 auf den parabolischen Zylinderspiegel 25, der die ursprünglich radiale Richtung des Laserstrahls 22 nicht beeinflusst.

Um Beugungsanteile aus dem rechteckförmigen Laserstrahl 22 auszublenken, kann entweder eine Blende 29 im Bereich des Linienfokus des Ringsektors 21 des parabolischen Rotationskörpers oder eine Blende 30 im Bereich des Linienfokus des ersten parabolischen Zylinderspiegels 25 angeordnet sein.

Eine Einrichtung 17 zur Formung eines Laserstrahls 8 mit ringsektorförmigem Strahlquerschnitt in einen Laserstrahl 11 mit rechteckförmigem Strahlquerschnitt umfasst einen Spiegel, dessen Oberfläche als Ringsektor 9 eines reflektierenden eines parabolischen Rotationskörpers gestaltet ist. So kann mit nur einem einzigen Spiegel und mit geringen Abbildungsfehlern der ringsektorförmige Laserstrahl 8 in einen rechteckförmigen Laserstrahl 11 geformt werden.

Stuttgart, 14.12.2000

24304 Rk/nu

EPO - Munich
3

16. Dez. 2000

Patentansprüche

1. Einrichtung (17; 20) zur Strahlformung eines Laserstrahls (8) mit ringsektorförmigem Strahlquerschnitt, mit einem Spiegel, dessen Spiegeloberfläche als Ringsektor (9; 21) eines Rotationskörpers gestaltet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Spiegeloberfläche als Ringsektor (9; 21) eines parabolischen Rotationskörpers gestaltet ist.
2. Einrichtung zur Strahlformung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Spiegeloberfläche durch die konvexe oder die konkave Oberfläche des parabolischen Rotationskörpers gebildet ist.
3. Einrichtung zur Strahlformung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der parabolische Rotationskörper als Rotationsparaboloid ausgebildet ist.

- 2 -

4. Einrichtung zur Strahlformung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Linienfokus des Ringsektors (21) des parabolischen Rotationskörpers bzw. im Punktfokus des Ringsektors (9) des Rotationsparaboloids eine Blende (29; 12) vorgesehen ist.
5. Einrichtung zur Strahlformung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Ringsektor (9; 21) ein optisches Element mit einer oder mehreren Oberflächen nachgeordnet ist, die den Laserstrahl jeweils in zwei zueinander rechtwinkligen Richtungen formt bzw. formen.
6. Einrichtung zur Strahlformung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element als Bifokuslinse ausgebildet ist.
7. Einrichtung zur Strahlformung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element mehrteilig ausgebildet ist.
8. Einrichtung zur Strahlformung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das optische Element durch eine Zylinderlinse (13; 24) und mindestens einen parabolischen Zylinderspiegel (14; 25, 26) gebildet ist.

- 3 -

9. Laser, umfassend einen koaxialen Laserresonator (1) mit ringförmigem Entladungsraum (2) und ringsektorförmiger Auskoppelöffnung (6) sowie eine Einrichtung (17; 21) zur Strahlformung des aus der Auskoppelöffnung (6) austretenden Laserstrahls (8) nach einem der vorhergehenden Ansprüche.
10. Laser nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Ringsektor (9; 21) des parabolischen Rotationskörpers koaxial zur Ringsektorachse des einfallenden Laserstrahls (8) angeordnet ist.

EPO - Munich

3

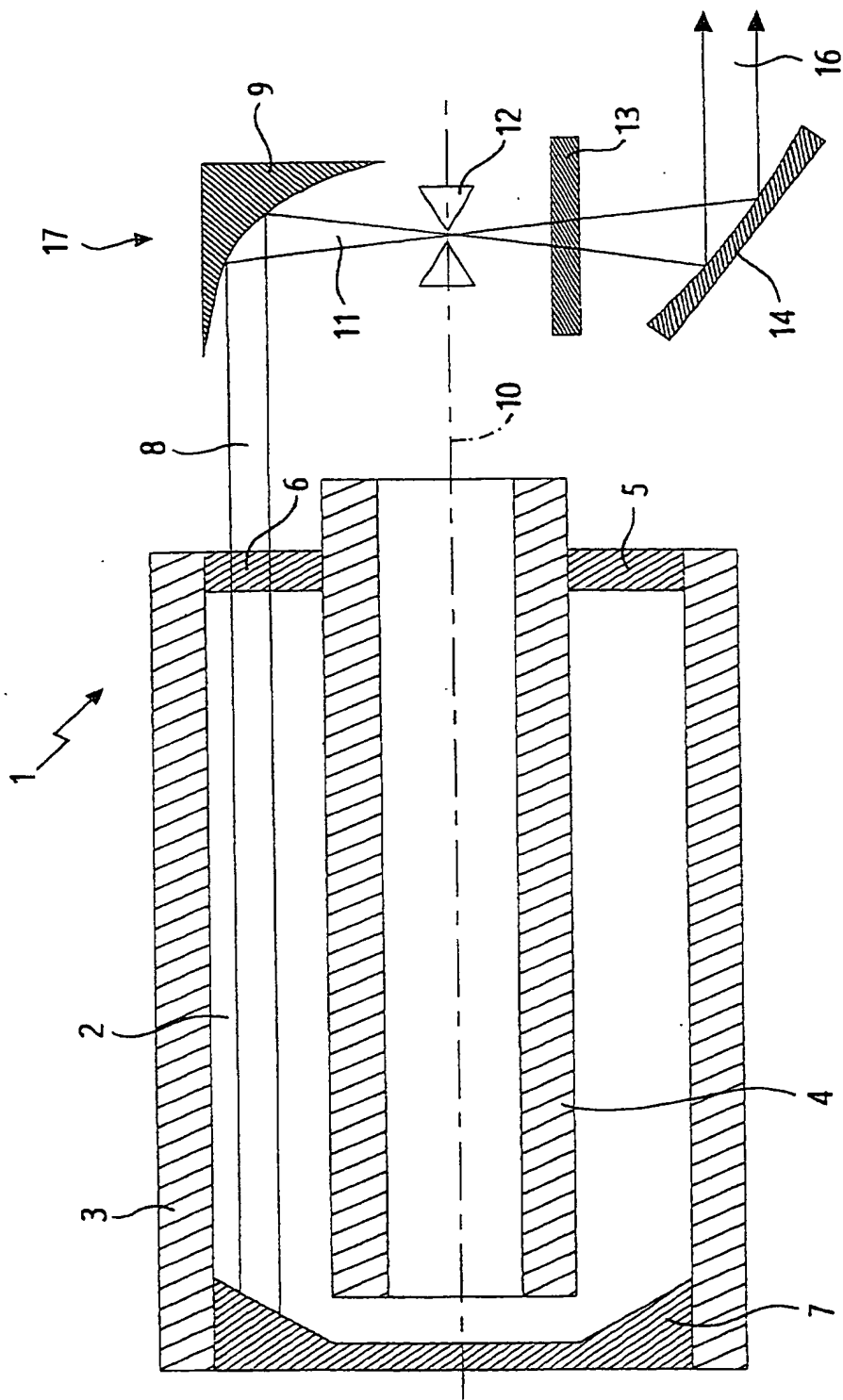
16. Dez. 2000

24 304 Rk/nu

Zusammenfassung

Eine Einrichtung (17) zur Formung eines Laserstrahls (8) mit ringsektorförmigem Strahlquerschnitt in einen Laserstrahl (11) mit rechteckförmigem Strahlquerschnitt umfasst einen Spiegel, dessen Oberfläche als Ringsektor (9) eines reflektierenden parabolischen Rotationskörpers gestaltet ist. So kann mit nur einem einzigen Spiegel und mit geringen Abbildungsfehlern der ringsektorförmige Laserstrahl (8) in einen rechteckförmigen Laserstrahl (11) geformt werden.

(Fig. 1)



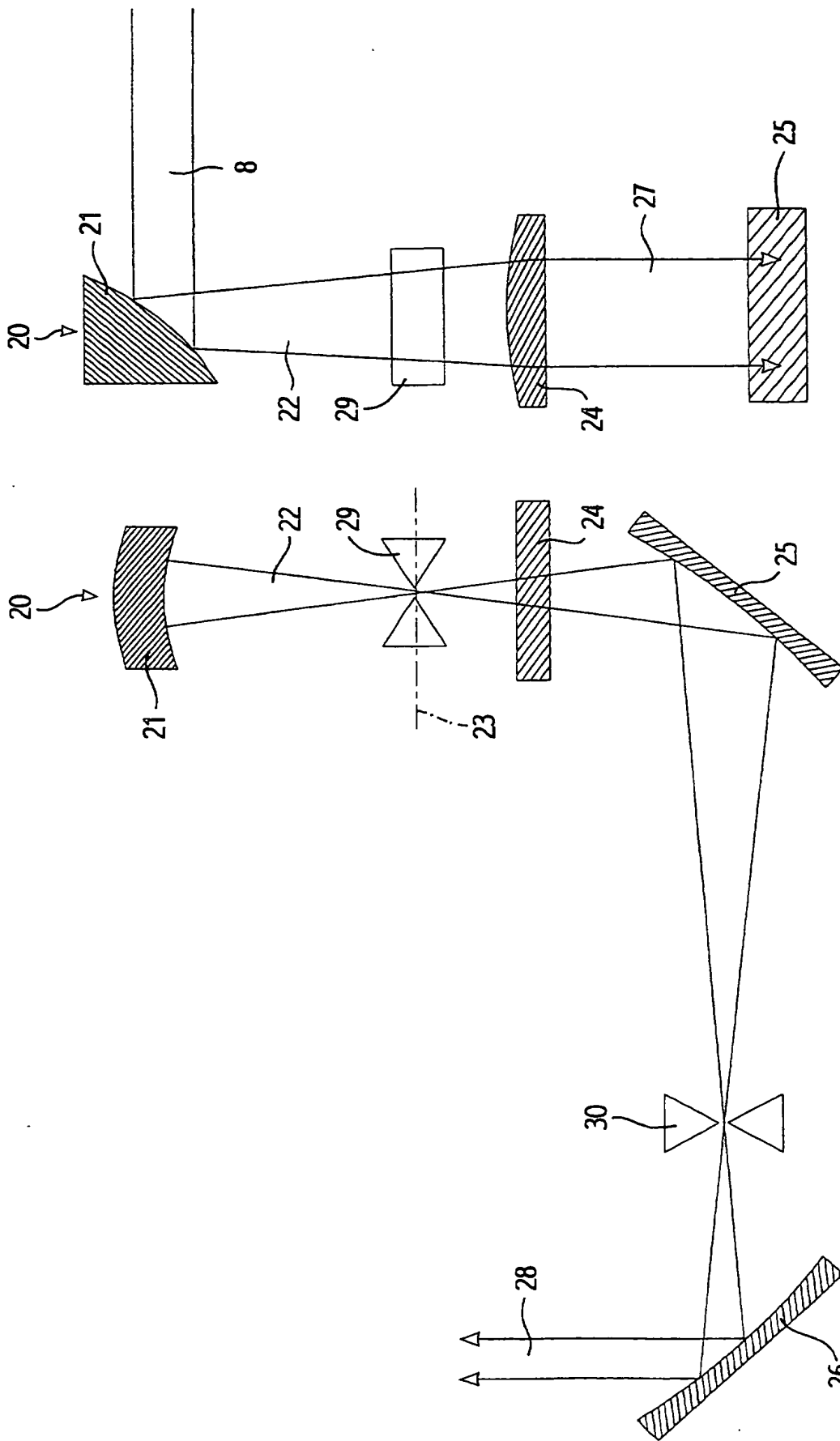


Fig. 4

Fig. 3

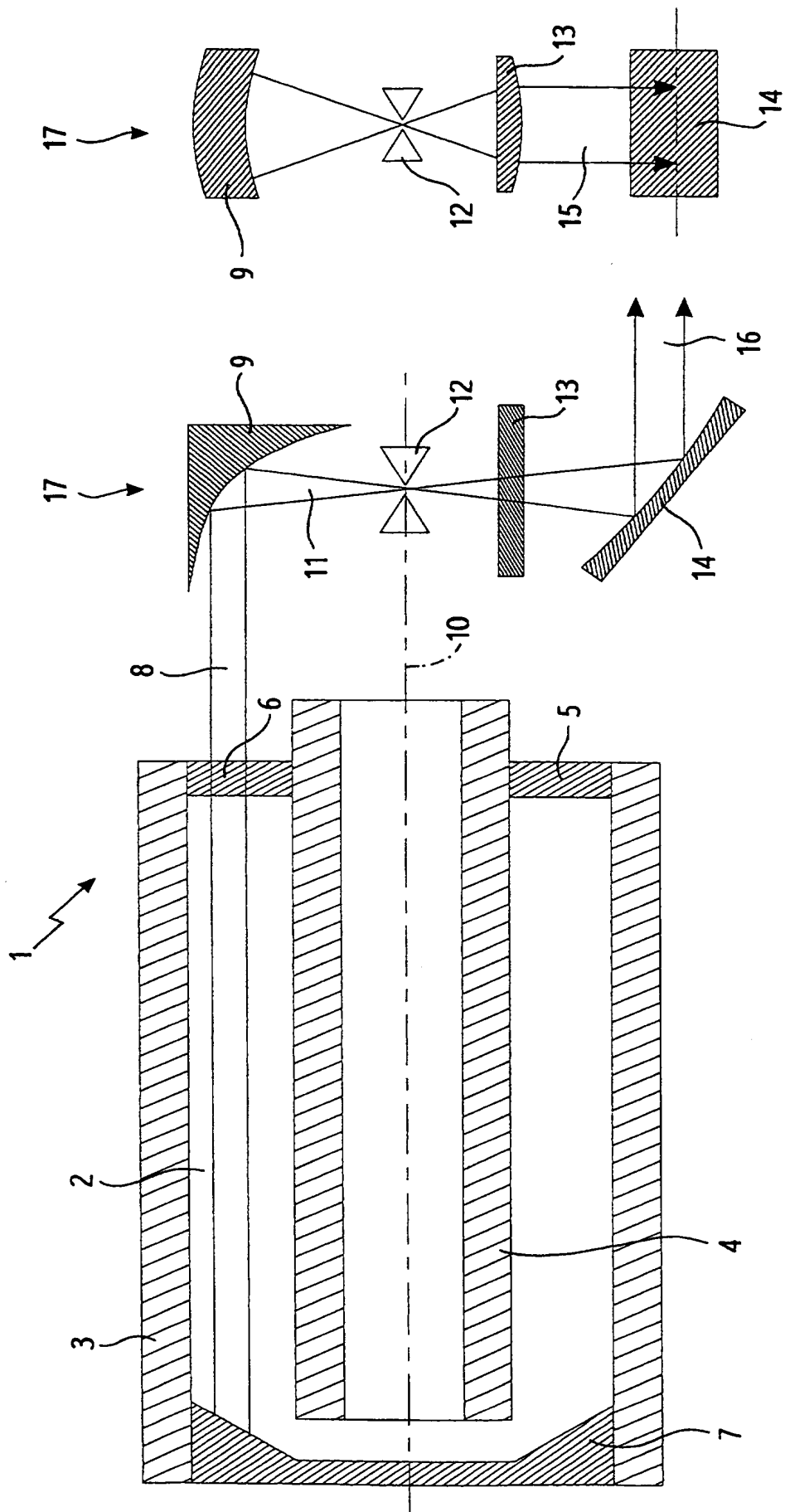


Fig. 2

Fig. 1

EPO - Munich
3
16. Dez. 2000